



## DECKBLATT



	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
EU 183	9K			L	RB	0018	00

**Titel der Unterlage:**  
Strahlungsexposition der auf der Schachtanlage Konrad unter Tage  
Beschäftigten durch natürlich vorkommende Radioaktivität im Gestein  
(PTB-SE-IB-27)

**Seite:** I.  
**Stand:** 03/1988  
**Textnummer:**

**Ersteller:**  
PTB

**Stempelfeld:**

PSP-Element TP..9K/2121.		zu Plan-Kapitel: 3.1	
		PL  Freigabe für Behörden	PL  Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.



PHYSIKALISCH - TECHNISCHE  
BUNDESANSTALT

Abteilung Sicherstellung und Endlagerung radioaktiver Abfälle

INTERNER ARBEITSBERICHT



Strahlenexposition der auf der Schachtanlage Konrad unter Tage  
Beschäftigten durch natürlich vorkommende Radioaktivität im  
Gestein

Braunschweig, März 1988

PTB-SE-IB-27

Strahlenexposition der auf der Schachtanlage Konrad unter Tage Beschäftigten durch natürlich vorkommende Radioaktivität im Gestein

Inhalt:	Seite
1. Zusammenfassung	2
2. Einleitung	3
3. Natürlich vorkommende Radioaktivität in der Grube Konrad	3
3.1 Erhöhter Strahlungspegel	3
3.2 Erhöhte Konzentration von Radon (Rn 222) und Thoron (Rn 220)	3
3.3 Erhöhter Staubgehalt in der untertägigen Atemluft	6
4. Strahlenexposition der unter Tage Beschäftigten	7
4.1 Strahlenexposition durch erhöhte Ortsdosisleistung unter Tage	7
4.2 Strahlenexposition durch erhöhte Konzentrationen von Radon/Thoron und deren kurzlebigen Folgeprodukten unter Tage	7
4.3 Strahlenexposition durch erhöhten Staubgehalt in der Atemluft unter Tage	10
5. Bewertung der ermittelten Strahlenexpositionen	11
5.1 Vergleich mit anderen Erzgruben (nicht Uran, nicht Kohle)	11
5.2 Vergleich mit den Empfehlungen der ICRP	13
5.3 Bewertung im Hinblick auf die Tätigkeit im geplanten Endlager	15
5.4 Vergleich mit der "natürlichen Strahlenexposition" der Bevölkerung	15
6. Verwendete Literatur	17

## 1. Zusammenfassung

Bedingt durch den Gehalt des Konrad-Gesteins an natürlich vorkommenden Radionukliden wie K 40 sowie Uran und Thorium einschließlich deren Zerfallsprodukte kommt es in der Grube zu einem erhöhten Strahlungspegel, zu einer Anreicherung der Grubenluft mit Radon und Thoron einschließlich deren kurzlebiger Folgeprodukte sowie zu einem erhöhten Radioaktivitätsgehalt im Staub der Atemluft. Es wird über Messungen dieser "radiologischen Grundbelastung" in der Grube Konrad berichtet, die zu einer zusätzlichen Strahlenexposition der unter Tage Beschäftigten, verglichen mit über Tage Beschäftigten, führt. Die Strahlenexposition wird ermittelt und unter vier verschiedenen Aspekten bewertet.

Die Bewertung ergibt, daß

1. die Grube Konrad aus radiologischer Sicht im "unteren Wertebereich" von 9 Nichturan-Vergleichsgruben einzustufen ist,
2. der Hauptbeitrag zur Strahlenexposition, herrührend von der Inhalation der kurzlebigen Radon- und Thoronfolgeprodukte, deutlich unter dem von der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) empfohlenen Grenzwert für radonexponierte unter Tage Beschäftigte liegt,
3. bei einer gleichwertigen Behandlung der "natürlichen" und der durch den späteren Endlagerbetrieb erwarteten "künstlichen" Strahlenexposition die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung für strahlenexponierte Personen (Kategorie A) insgesamt nicht überschritten werden und
4. die "natürliche Strahlenexposition" in der Grube Konrad (Radon/Thoron-Folgeprodukte) unter dem von der Strahlenschutzkommission (SSK) empfohlenen Richtwert für die Bevölkerung (bei dessen Überschreitung einfache und wirksame Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration in bestehenden Bauten zu erwägen sind) liegt.

## 2. Einleitung

Wie in der "normalen" Umgebung des Menschen - sei es in Häusern, sei es im Freien - gibt es auch in einem Bergwerk eine "radiologische Grundbelastung". Ursache hierfür ist wie über Tage die natürliche Radioaktivität des Gesteins. Diese wird hervorgerufen durch Spuren von Uran/Radium und Thorium und deren Zerfallsprodukten sowie durch Kalium 40. Durch diese radioaktiven Stoffe wird ein gewisser Strahlungspegel in den untertägigen Strecken, Kammern usw. sowie eine Anreicherung der Atemluft (Wetter) mit Radioaktivität hervorgerufen. Die folgenden Ausführungen beschäftigen sich mit den grundsätzlich drei unterschiedlichen Gegebenheiten, durch die in einem Bergwerk und hier speziell in der Grube Konrad eine Strahlenexposition der unter Tage Beschäftigten hervorgerufen wird. Es wird die Höhe der Strahlenexposition ermittelt und bewertet.

## 3. Natürlich vorkommende Radioaktivität in der Grube Konrad

### 3.1 Erhöhter Strahlungspegel

Hervorgerufen durch die Gammastrahlung der im Gestein natürlich vorkommenden Radionuklide (vgl. Kap. 3.3) stellt sich ein im Vergleich zur übertägigen Umgebung der Schachanlage Konrad (ca.  $0,08 \mu\text{Sv/h}$ ) etwas erhöhter Strahlungspegel in Strecken, Kammern usw. ein. Messungen der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF) im Jahre 1982 lieferten Werte der Ortsdosisleistung im Grubengebäude zwischen  $0,075 \mu\text{Sv/h}$  und  $0,18 \mu\text{Sv/h}$ . Messungen der PTB im Jahre 1987 lieferten Werte zwischen  $0,08 \mu\text{Sv/h}$  und  $0,15 \mu\text{Sv/h}$  mit einer Tendenz zum höheren Wert hin.

### 3.2 Erhöhte Konzentration von Radon (Rn 222) und Thoron (Rn 220)

Für die Strahlenexposition der unter Tage Beschäftigten durch Inhalation sind die in die Bewetterung gelangenden gasförmigen Zerfallsprodukte Radon und Thoron des Urans/Radiums und des Thoriums einschließlich deren kurzlebiger Folgeprodukte maßgeblich. Dabei tragen die letzteren, die als Aerosole vorliegen, wegen ihrer Lungengängigkeit (Rückhaltung in den Zellen des Bronchialepithels und des pulmonären Bereichs der Lunge) zu über 99 % zur Strahlenexposition bei.

Es ist üblich, die (inhalierte) Menge dieser kurzlebigen Folgeprodukte Pb 212/Bi 212/Po 212 bzw. Pb 214/Bi 214/Po 214 nicht als Aktivität, sondern

als "potentielle  $\alpha$ -Energie"  $I_p$  anzugeben, da die bei einem  $\alpha$ -Zerfall auftretenden energiereichen  $\alpha$ -Teilchen aufgrund ihres hohen spezifischen Energieverlustes in den Zellen für die Strahlenexposition verantwortlich sind. Die Werte  $I_p$  für die einzelnen Radionuklide ergeben sich aus der U-Ra- und Th-Zerfallsreihe und sind z.B. in ICRP 32 /ICR 81/ aufgeführt.

In den Jahren 1983/84 wurden im Auftrag der PTB von der GSF /GSF 84/ in 98 Messungen die Rn 222-Konzentration und in 18 Messungen die Konzentration der kurzlebigen Folgeprodukte von Rn 222 und von Rn 220 bestimmt. Die PTB selbst nimmt seit August 1985 in zweimonatlichen Abständen Messungen der Rn 222-Konzentration an stark frequentierten Betriebspunkten und im ausziehenden Schacht mit passiven Radondosimetern (Kennspurfilm) vor. Die Auswertung der Dosimeter erfolgt im Kernforschungszentrum Karlsruhe und liefert jeweils über 2 Monate gemittelt Werte der Rn 222-Konzentrationen.

- a.) An relativ frisch bewetterten Arbeitspunkten in der Grube (Nähe Schacht 1) liefern die GSF-Messungen etwa folgendes Bild (Meßpunkte 1, 2, 3, 4, 9, 12, 13, 14, 18, 22, 30, 45, 46, 48, 49, 61, 62, 66, 68):

Rn 222	16-105 Bq/m <sup>3</sup>	Aktivitätskonzentration
	Mittelwert 53 Bq/m <sup>3</sup>	
Po 218 + Pb 214 + Bi 214	<0,02-0,19 $\mu$ J/m <sup>3</sup>	potentielle Alphaenergie-
Pb 212	<0,05-0,64 $\mu$ J/m <sup>3</sup>	konzentration

Die PTB-Messungen liefern für die "Frischwetter" der 1300 m-Sohle Werte für Rn 222 von 66 - 224 Bq/m<sup>3</sup> (Mittelwert 150 Bq/m<sup>3</sup>).

- b.) An Betriebspunkten in der Nähe von Schacht 2 (Wetter passieren den Bereich der "Wendel Süd" und werden mit Radon aus abgebauten, aber noch offenstehenden Grubenbereichen angereichert) liefern die GSF-Messungen (Meßpunkte 5, 6, 7, 8, 17, 21, 23, 24, 25, 28, 29, vgl. Tabelle):





dazu in PTB-SE-IB-17, S. 4 ff). Die Rn 222-Konzentrationen liegen nach GSF-Messungen vom Dezember 1986 bei 266 und 297 Bq/m<sup>3</sup>, nach den PTB-Messungen von November 1985 bis Oktober 1987 zwischen 188 und 570 Bq/m<sup>3</sup> mit einem Mittelwert von 320 Bq/m<sup>3</sup>.

Insgesamt zeigen die Messungen ein hohes Maß an Schwankungen der Konzentrationen, was auf mehrere Ursachen zurückzuführen ist. Neben Schwankungen des äußeren Luftdruckes sind hier vor allem die laufend erfolgende Umstellung der Wetterführung in Teilbereichen sowie der schwankende Gesamtwetter-Volumenstrom zu nennen.

Für die Zukunft ist vorgesehen, die Zugänge von der "Wendel Süd" (b.) zum abgeworfenen LHD-Feld zu verschließen. Es wird eine deutliche Verringerung der Radonkonzentrationen in diesem Bereich erwartet.

### 3.3 Erhöhter Staubgehalt in der untertägigen Atemluft

Bedingt durch das Einatmen des Staubes in den Wettern erfahren die unter Tage Beschäftigten zusätzlich zur Dosis durch Inhalation von Radon und Thoron und deren kurzlebigen Folgeprodukten (Kap. 3.2) eine Strahlenexposition, die durch den Gehalt des Staubes an den natürlich vorkommenden Radionukliden Uran und Thorium, deren "längerlebigen Folgeprodukten" Th 234, Pa 234, U 234, Th 230, Ra 226 und Ra 228, Ac 228, Th 228, Ra 224 sowie durch Kalium 40 hervorgerufen wird.

Von GSF wurden Bestimmungen des Radionuklidgehaltes von Konrad-Erz vorgenommen /GSF 82/. Folgende Werte wurden ermittelt (Werte in Bq/g Erz).

	Mittelwert aus Messungen an 10 Erzproben (S. B 2-28)	Einzelmessung (S. D 4-46)
U 238	$2,22 \cdot 10^{-2}$	$5,00 \cdot 10^{-2}$
Ra 226	$1,85 \cdot 10^{-2}$	$5,44 \cdot 10^{-2}$
Pb 214	$1,44 \cdot 10^{-2}$	$4,07 \cdot 10^{-2}$
Th 232 (Ra 228)	$9,62 \cdot 10^{-2}$	$14,80 \cdot 10^{-2}$
Ac 228	$9,62 \cdot 10^{-2}$	$21,83 \cdot 10^{-2}$
Tl 208	$9,62 \cdot 10^{-2}$	$18,87 \cdot 10^{-2}$
K 40	$12,2 \cdot 10^{-2}$	

Aufgrund der Messungen läßt sich nicht ausschließen, daß alle Folgeprodukte der Zerfallsreihen bis zum Ra 226 bzw. Ra 224 mit ihren Muttersubstanzen im radioaktiven Gleichgewicht stehen. Es wird unterstellt, daß der in Konrad unter Tage anfallende Staub dieselbe Nuklidzusammensetzung aufweist wie das Erz.

Bezüglich des Staubgehaltes der Wetter in Konrad liegen Messungen der GSF /GSF 82/ und der Fraunhofer-Gesellschaft /FHG 83/ vor. Danach ist von einer mittleren Konzentration von 1 mg Staub/m<sup>3</sup> Luft auszugehen.

#### 4. Strahlenexposition der unter Tage Beschäftigten

##### 4.1 Strahlenexposition durch erhöhte Ortsdosisleistung unter Tage

Bei Unterstellung eines Wertes der Ortsdosisleistung von 0,15  $\mu\text{Sv/h}$  und 1500 Stunden Arbeitszeit unter Tage (vgl. Kap 4.2) ergibt sich eine jährliche Arbeitsdosis für die unter Tage Beschäftigten von  $22,5 \cdot 10^{-5}$  Sv/a. Das sind bei einer unterstellten Ortsdosisleistung von 0,09  $\mu\text{Sv/h}$  über Tage  $0,06 \mu\text{Sv/h} \cdot 1500 \text{ h} = 9 \cdot 10^{-5}$  Sv/a Arbeitsdosis mehr als bei einem über Tage Beschäftigten.

##### 4.2 Strahlenexposition durch erhöhte Konzentrationen von Radon/Thoron und deren kurzlebigen Folgeprodukten unter Tage

Bei der Ermittlung der Strahlenexposition ist zu berücksichtigen, daß dieselbe Menge inhalierter potentieller Alpha-Energie bei den kurzlebigen Thoronfolgeprodukten zu einer dreimal geringeren Dosis führt als bei den kurzlebigen Rn 222-Folgeprodukten.

In ICRP 32 /ICR 81/ werden folgende Dosisfaktoren  $D_{\text{eff}}/I_p$  für die effektive Äquivalentdosis empfohlen:

	$D_{\text{eff}}/I_p$ in Sv/J
Radon 222-Folgeprodukte (Po 218 + Pb 214 + Bi 214)	2,5
Radon 220-Folgeprodukte (Pb 212 + Bi 212)	0,83

Die effektive Äquivalentdosis  $D_{\text{eff}}$  infolge Inhalation der kurzlebigen Radon/Thoron-Folgeprodukte steht mit der Strahlenexposition des Tracheabronchial- ( $D_{\text{TL}}$ ) und des pulmonären Bereichs ( $D_{\text{PL}}$ ) der Lunge bzw. mit der mittleren Lungendosis  $D_{\text{L}}$  in folgendem Zusammenhang:

$$D_{\text{eff}} = 0,06 D_{\text{TL}} + 0,06 D_{\text{PL}} = 0,12 D_{\text{L}}; \quad D_{\text{L}} = \frac{D_{\text{TL}} + D_{\text{PL}}}{2}$$

Zur Abschätzung potentieller Strahlenexpositionen des Personals werden zwei idealisierte unterschiedliche Arbeitsplätze gemäß den Ausführungen unter a.) und b.) in Kap. 3.2, welche die Extremsituationen darstellen, mit folgenden Konzentrationswerten betrachtet (Vernachlässigung der Strahlenexposition durch die Edelgase Rn 222, Rn 220 selbst):

#### Idealisierter Arbeitsplatz A:

$$\begin{aligned} C_{\text{Po 218}} + C_{\text{Pb 214}} + C_{\text{Bi 214}} &= 0,04 \mu\text{J}/\text{m}^3 \quad (\text{geschätzte} \\ C_{\text{Pb 212}} + C_{\text{Bi 212}} &= 0,1 \mu\text{J}/\text{m}^3 \quad (\text{Mittelwerte}) \end{aligned}$$

#### Idealisierter Arbeitsplatz B:

$$\begin{aligned} C_{\text{Po 218}} + C_{\text{Pb 214}} + C_{\text{Bi 214}} &= 1,2 \mu\text{J}/\text{m}^3 \quad (\text{Mittelwert}) \\ C_{\text{Pb 212}} + C_{\text{Bi 212}} &= 1,2 \mu\text{J}/\text{m}^3 \quad (\text{Mittelwert}) \end{aligned}$$

Folgende Randbedingungen finden Verwendung:

Arbeitszeit unter Tage (gemessen vom Betreten des Förderkorbes ü. T. bis zum Wiederbetreten des Förderkorbes u. T.)	7,5 h/Schicht
Zahl der Schichten im Jahr pro Person	200 Schichten/a
Jährliche Arbeitszeit unter Tage	1500 h/a
Atemrate $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$	$1,875 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$
Dosisfaktoren gemäß ICRP 32	$D_{\text{eff}}/I_{\text{p}}(\text{Rn 222 FP})=2,5 \text{ Sv/J}$ $D_{\text{eff}}/I_{\text{p}}(\text{Rn 220 FP})=0,83 \text{ Sv/J}$

Es ergeben sich folgende Werte der potentiellen effektiven Äquivalentdosis:

**Idealisierter Arbeitsplatz A:**

$$D_{\text{eff}}^{\text{Po } 218+\text{Pb } 214+\text{Bi } 214} = 19 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

$$D_{\text{eff}}^{\text{Pb } 212+\text{Bi } 212} = 16 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

---


$$35 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

**Idealisierter Arbeitsplatz B:**

$$D_{\text{eff}}^{\text{Po } 218+\text{Pb } 214+\text{Bi } 214} = 563 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

$$D_{\text{eff}}^{\text{Pb } 212+\text{Bi } 212} = 187 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

---


$$750 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$$

Im Realfall wird sich ein unter Tage Beschäftigter im Jahresmittel an Orten aufhalten, deren Radon/Thoron-Konzentrationen gemittelt **deutlich unter denen des Falles B, etwa bei der Hälfte oder niedriger\***, liegen.

Es ist zu berücksichtigen, daß ein unter Tage Beschäftigter durch seinen unter Tage-Arbeitsplatz **ein Weniger an über Tage-Strahlenexposition erhält**. Die folgende Tabelle enthält die durch Radon/Thoron und deren kurzlebige Folgeprodukte bewirkten Strahlenexpositionen, aufgeschlüsselt nach Arbeits- bzw. Aufenthaltsplätzen unter und über Tage. Dabei finden die Aufenthaltszeiten innerhalb eines Jahres = 8760 Stunden gemäß /KfK 85/ Verwendung.

\* Ein solcher Wert ergibt sich aus der Tatsache, daß Arbeiten an Arbeitsplätzen mit relativ hoher Radonkonzentration wie Handwerker-/Reparaturarbeiten, Fahrbahnpflege, Aufsicht nur für begrenzte Zeiträume anfallen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß für die unter Tage Beschäftigten für Seilfahrt, Wartezeiten und Fahrten zwischen Schacht 1 und Arbeitsplatz (frische Wetter) ca. 1 Stunde/Schicht in Ansatz zu bringen ist.

Dosis in $10^{-5}$ Sv/a	Aufenthalt					
	im Freien (20%) 1752 h/a	in Häusern		im Bergwerk (berufl.)		
		privat 5508 h/a	berufl. 1500 h/a	Fall A 1500 h/a	Fall B 1500 h/a	Arbeits- platz*
potentielle effektive Äquivalent- dosis (Beitrag der Lunge)	9	68	19	35	750	< 370
Lungendosis	75	567	158	292	6250	<3100

\* realistischerweise anzunehmender

Die durch den unter Tage-Aufenthalt (statt über Tage) bewirkte zusätzliche Dosis durch Inhalation von Radon/Thoron und deren kurzlebigen Folgeprodukten beträgt also

für die effektive Äquivalentdosis:  $16 \cdot 10^{-5}$  bis  $731 \cdot 10^{-5}$  Sv/a

mit einem realistischerweise zu erwartenden Wert von kleiner als ca.  $350 \cdot 10^{-5}$  Sv/a.

#### 4.3 Strahlenexposition durch erhöhten Staubgehalt in der Atemluft unter Tage

Zur Abschätzung der Inhalationsdosis unter Tage Beschäftigter wird von der Meßreihe an 10 Erzproben (vgl. Kap. 3.3) ausgegangen:

Folgende spezifische Konzentrationen im Erz(staub) werden unterstellt:

U 238	} je $2,22 \cdot 10^{-2}$ Bq/g Erz	Th 232	} je $9,62 \cdot 10^{-2}$ Bq/g Erz
Th 234 ( $\beta^-$ )		Ra 228 ( $\beta^-$ )	
Pa 234		Ac 228 ( $\beta^-$ )	
U 234		Th 228	
Th 230		Ra 224	
Ra 226			K 40

Bei Zugrundelegung einer mittleren lungengängigen Staubbelastung der Wetter von  $1 \text{ mg Erzstaub/m}^3$  Luft (vgl. Kap. 3.3), ergeben sich folgende Radionuklidkonzentrationen in der Atemluft:

Mitglieder der U-Ra-Reihe: je  $2,22 \cdot 10^{-5} \text{ Bq/m}^3$  Luft

Mitglieder der Th-Reihe: je  $9,62 \cdot 10^{-5} \text{ Bq/m}^3$  Luft  
(Druckfehler im Plan Konrad 3/86)

K 40:  $12,2 \cdot 10^{-5} \text{ Bq/m}^3$  Luft

Folgende über die Mitglieder der jeweiligen Zerfallsreihe summierte Dosisfaktoren für die effektive Äquivalentdosis nach ICRP 30 bzw. nach BGA 85/ ergeben sich (Lungenretentionsklassen Y außer bei Ra (W) und K 40 (D)):

U-Ra-Reihe  $1,393 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/Bq}$

Th-Reihe  $4,04 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/Bq}$

K 40  $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/Bq}$

Bei einer untertägigen jährlichen Arbeitszeit von 1500 h/a und einer Atemrate von  $1,875 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{a}$  (vgl. Kap. 4.2) ergeben sich folgende Werte der effektiven Äquivalentdosis:

U-Ra-Reihe  $D_{\text{eff}} = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$

Th-Reihe  $D_{\text{eff}} = 7,3 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$

K 40  $D_{\text{eff}} = 7,5 \cdot 10^{-11} \text{ Sv/a}$

---

$D_{\text{eff}} \approx 8 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$  durch Inhalation von Erzstaub

## 5. Bewertung der ermittelten natürlichen Radionuklidkonzentration und der Strahlenexpositionen

### 5.1 Vergleich mit anderen Nichturan-Gruben in der Bundesrepublik Deutschland

In 9 Nichturan-Gruben in der Bundesrepublik Deutschland wurden im Rahmen des EG-Studienvertrages vom Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesund-

heitsames Messungen der Ortsdosisleistung, der Konzentrationen von Ra 226, Th 232 und K 40 im Gestein sowie von Rn 222 und Rn 220 in den Wettern vorgenommen /BGA 84/. Die Messungen erfolgten mit unterschiedlichen Meßmethoden. Durch die Auswahl der Gruben wurde ein möglichst breites Spektrum der unterschiedlichen Bergbauarten abgedeckt.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse von /BGA 84/ in zusammenfassender Form aufgeführt und den Meßergebnissen bzw. Berechnungen für die

	Nichturan-Bergwerke		Grube Konrad				Realistischer Arbeitsplatz (vgl. Text)
	Werte- bereich	Mittel- wert	Idealisierter Arbeitsplatz		Realistischer Arbeitsplatz		
			A Werte- bereich	Mittel- wert	B Werte- bereich	Mittel- wert	
spezifische Ra Aktivität Bq/kg Th im Gestein K	2,6-126 2,6- 74 32 -950	31 39 39					22 96 122
Ortsdosisleistung $\mu\text{Sv/h}$	0,014-0,43	0,167					0,15
Rn 222 Konzentration in den Wettern Bq/m <sup>3</sup>	18-20000	2730	16-105 (66-224 (2 Monats-Messungen PTB)	53 150)	212-1015 (354-582	583 470)	ca.290
potentielle $\alpha$ -Energie- Konzentration in den Wettern* $\mu\text{J/h}$	0,21- 21,6**	5,17	<0,02-0,19 (Rn-FP) 0,05-0,64 (Tn-FP)	0,04 0,1	0,33-2,44 (Rn-FP) 0,83-1,62 (Tn-FP)	1,2 1,2	0,6 (Rn-FP) 0,6 (Tn-FP)
potentielle effektive Äquivalentdosis $10^{-5}$ Sv/a	70- 6800	1633	19 + 16 (Rn-FP) (Tn-FP) = 35		563 + 187 (Rn-FP) (Tn-FP) = 750		281 + 94 (Rn-FP) (Tn-FP) = 375
potentielle Lungendosis $10^{-5}$ Sv/a	583- 56667	13608	292		6250		<3125

\* Bei den 9 Nicht-Urangruben ist die potentielle  $\alpha$ -Energiekonzentration der Rn 220-Folgeprodukte vernachlässigbar klein gegen diejenige der Rn 222-Folgeprodukte

\*\* Der höchste gemessene Wert von  $49,9 \mu\text{J/m}^3$  wurde nicht verwendet zur Mittelung bzw. Dosisberechnung, da in der betreffenden Grube z.Z. nur Wartungsarbeiten mit 240 h/a durchgeführt werden.

Rn-FP: Radon-Folgeprodukte; Tn-FP: Thoron-Folgeprodukte

Der Vergleich zeigt, daß hinsichtlich der spezifischen Gesteins-Aktivitäten die Grube Konrad bezüglich Ra etwas unter dem Mittelwert, bezüglich Th und K jedoch deutlich über dem Mittelwert der Vergleichsgruben liegt. Auf die Ortsdosisleistung haben diese Abweichungen jedoch keinen Einfluß (0,15  $\mu\text{Sv/h}$  in Konrad gegenüber dem Vergleichsmittelwert von 0,16  $\mu\text{Sv/h}$ ).

Der Vergleich der Verhältnisse hinsichtlich der Konzentrationen von Rn/Tn und deren kurzlebigen Folgeprodukten fällt jedoch völlig anders aus: Vermutlich bedingt durch die relativ hohen Wetterdurchsätze in Konrad schwanken die Rn 222-Konzentrationen in einem erheblich engeren Bereich (bis zum Faktor 6) und liegen im Mittel um einen Faktor  $\approx 5$  unter dem Mittelwert aus den Vergleichsgruben. Ähnliches gilt für die kurzlebigen Rn 222-Folgeprodukte (für die kurzlebigen Rn 220-Folgeprodukte stehen keine Vergleichszahlen zur Verfügung).

Die potentielle Strahlenexposition an einem "realistischen Arbeitsplatz" (vgl. Kap. 4.2) in Konrad von  $375 \cdot 10^{-5}$  Sv/a effektiver Äquivalentdosis liegt um den Faktor 4-5 unter dem Mittelwert von  $1633 \cdot 10^{-5}$  Sv/a für die Vergleichsgruben.

Insgesamt gesehen ist die Grube Konrad somit aus radiologischer Sicht im unteren Wertebereich der 9 Vergleichsgruben anzusiedeln.

## 5.2 Vergleich mit den Empfehlungen der ICRP

In ihrer Empfehlung von 1981 /ICR 81/ hat die internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) Grenzwerte für die Inhalation der kurzlebigen Rn- und Th-Zerfallsprodukte für radonexponierte Untertagebeschäftigte empfohlen, die dem Strahlenrisiko von 0,05 Sv/a für strahlenexponierte Personen entsprechen.

Die (primären) Grenzwerte beziehen sich auf die Menge an jährlich inhalierter potentieller  $\alpha$ -Energie ( $\mu\text{J/a}$ ), getrennt für die kurzlebigen Folgeprodukte des Rn 222 und des Rn 220. Aus ihnen ergibt sich mit den in /ICR 81/ angegebenen Dosisfaktoren eine jährliche effektive Äquivalentdosis von jeweils 0,05 Sv/a.



Grenzwerte der jährlich inhalierten  $\alpha$ -Energie:

$$I_p^{\text{Grenz}}(\text{Rn } 222\text{-FP}) = 0,02 \text{ J}$$

$$I_p^{\text{Grenz}}(\text{Rn } 220\text{-FP}) = 0,06 \text{ J}$$

$$0,02 \frac{\text{J}}{\text{a}} \cdot 2,5 \frac{\text{Sv}}{\text{J}} = 0,05 \frac{\text{Sv}}{\text{a}}$$

$$0,06 \frac{\text{J}}{\text{a}} \cdot 0,83 \frac{\text{Sv}}{\text{J}} = 0,05 \frac{\text{Sv}}{\text{a}}$$

Bei gleichzeitigem Vorliegen der kurzlebigen Rn- und Tn-Folgeprodukte ist die folgende Summenformel zu beachten:

$$\frac{I_p(\text{Rn } 222 \text{ FP})}{I_p^{\text{Grenz}}(\text{Rn } 222 \text{ FP})} + \frac{I_p(\text{Rn } 220 \text{ FP})}{I_p^{\text{Grenz}}(\text{Rn } 220 \text{ FP})} \leq 1$$

Der Vergleich der in Kap. 4 ermittelten Strahlenexposition für in der Schachanlage Konrad unter Tage Beschäftigte, im wesentlichen verursacht durch Radon/Thoron und deren kurzlebige Folgeprodukte in den Grubenwettern (Kap. 4.2), zeigt, daß die für den realistischere anzunehmenden Arbeitsplatz ermittelte effektive Äquivalentdosis von insgesamt weniger als  $ca. 400 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$  deutlich unter dem von der ICRP empfohlenen Grenzwert von  $5000 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$  liegt (8 % des Grenzwertes).

Die Lungendosis von  $< \approx 3100 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$  liegt ebenso deutlich unter dem von der ICRP für strahlenexponierte Personen empfohlenen Grenzwert von  $50\,000 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$  (6 % des Grenzwertes). Die Lungendosis liegt auch deutlich unter dem Grenzwert der Lunge für strahlenexponierte Personen von  $15\,000 \cdot 10^{-5} \text{ Sv/a}$ , der von der deutschen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) /EMI 76/ für strahlenexponierte Personen vorgesehen ist (21 % des Grenzwertes).

### 5.3 Bewertung im Hinblick auf die Tätigkeit im geplanten Endlager

Im geplanten Endlager Konrad werden strahlenexponierte Personen (Kategorie A) im Sinne der StrlSchV /BMI 76/ auch unter Tage arbeiten (Transport und Einlagerung der Abfallgebinde/Strahlenschutzpersonal). Für sie hat die PTB geplant, daß die durch den Umgang mit den radioaktiven Abfällen verursachte effektive Äquivalentdosis im Mittel unter  $500 \cdot 10^{-5}$  Sv/a und für Einzelpersonen an Dauer-Arbeitsplätzen nicht über  $1000 \cdot 10^{-5}$  Sv/a liegt. Ferner darf die durch Inhalation von radioaktiven Stoffen, die aus den Abfällen freigesetzt werden, bewirkte effektive Äquivalentdosis für die Einzelperson  $50 \cdot 10^{-5}$  Sv/a nicht überschreiten. Der Jahresgrenzwert für die effektive Äquivalentdosis gemäß StrlSchV beträgt  $5000 \cdot 10^{-5}$  Sv/a.

Die Strahlenexposition für diesen Personenkreis, die durch natürlich vorkommende Radioaktivität im Gestein verursacht wird, zählt gemäß §§ 1 und 28 StrlSchV nicht zu den Strahlenexpositionen, für welche die Grenzwerte der StrlSchV Anwendung finden, da beim Betrieb des Endlagers eine "Aufsuchung, Gewinnung und Aufbereitung von radioaktiven Mineralien (Bodenschätzen)" nicht erfolgt.

Wird dennoch eine gleichwertige Behandlung der "natürlichen" und der "künstlichen" Strahlenexposition vorgenommen, so zeigen die Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln, daß aufgrund der Planung des Endlagers (Auslegung, administrative Maßnahmen) die Grenzwerte der StrlSchV insgesamt nicht überschritten werden.

### 5.4 Vergleich mit der "natürlichen Strahlenexposition" der Bevölkerung

In Kap. 4 wurde durch Angabe der Mehr-Strahlenexposition für die Untertage-Beschäftigten gegenüber derjenigen der Übertage-Beschäftigten bereits eine Berücksichtigung der "natürlichen Strahlenexposition" im beruflichen Bereich vorgenommen (Vergleich der Strahlenexpositionen während der Ausübung des Berufs). Da jedoch der überwiegende Anteil der "natürlichen Strahlenexposition" nicht während der Ausübung des Berufs, sondern in der "Freizeit" erworben wird, ist es angemessen, eine Bewertung der "natürlichen Mehr-Dosis" der in Konrad Untertage-Beschäftigten auch durch Vergleich mit der für einen Übertage-Beschäftigten geltenden "natürlichen Strahlenexposition" vorzunehmen (Vergleich mit dem Absolutwert der "natürlichen Dosis").

In der Bundesrepublik Deutschland liegt der durch äußere Bestrahlung verursachte Anteil der Strahlenexposition bei im Mittel  $70 \cdot 10^{-5}$  Sv/a (Höhenstrahlung aus dem Kosmos und terrestrische Strahlung im Freien). An manchen

Stellen auf der Erde kommen erheblich höhere Werte vor, z. B. in Kerala/Indien im Mittel ca.  $400 \cdot 10^{-5}$  Sv/a.

Zusätzlich zur Bestrahlung von außen ist die Bestrahlung von innen durch inkorporierte Radionuklide zu berücksichtigen. Außer Radon/Thoron und deren kurzlebigen Folgeprodukten, die durch Inhalation mit der Atemluft in den menschlichen Körper gelangen, tragen die natürlich vorkommenden Radionuklide K 40, C 14 sowie Uran und Thorium mit ihren längerlebigen Folgeprodukten (bis zum Radon/Thoron) zur Strahlenexposition von innen bei. Für die effektive Äquivalentdosis beträgt der Anteil in der Bundesrepublik Deutschland im Mittel ca.  $130 \cdot 10^{-5}$  Sv/a, für die Lunge als Gesamtorgan

ca.  $850 \cdot 10^{-5}$  Sv/a ( $100 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Sv}}{\text{a}}$  durch Radon/Thoron-Folgeprodukte,

Rest durch äußere Bestrahlung, K 40 usw.) Dabei ist das Bronchialepithel als ein Teil der Lunge mit  $1500 \cdot 10^{-5}$  Sv/a am weitest stärksten belastet (Alveolarbereich:  $200 \cdot 10^{-5}$  Sv/a).

Zur Bewertung der "natürlichen Mehrdosis" der auf Konrad unter Tage Beschäftigten werden diese Werte mit dem Mittelwert der (absoluten) "natürlichen Strahlenexposition" in der Bundesrepublik Deutschland verglichen (vgl. Tabelle).

"natürliche Mehrdosis" Konrad unter Tage		"natürliche Strahlenexposition" Bundesrepublik Deutschland	
eff. Äquivalentdosis $10^{-5}$ Sv/a	Lungendosis $10^{-5}$ Sv/a	eff. Äquivalentdosis $10^{-5}$ Sv/a	Lungendosis $10^{-5}$ Sv/a
ca. 370	ca. 2960	200	950

Die "natürliche Mehrdosis" für auf Konrad unter Tage Beschäftigte beträgt das ca. 2-fache (effektive Äquivalentdosis) bzw. das ca. 3-fache (mittlere Lungendosis) des jeweiligen Mittelwertes (Absolutwert) der "natürlichen Strahlenexposition" der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland.

In einer Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (SSK) der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahre 1985 /SSK 85/, die sich mit der "Strahlenexposition und dem möglichen Lungenkrebsrisiko (der Bevölkerung) durch Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern" beschäftigt, schlägt die

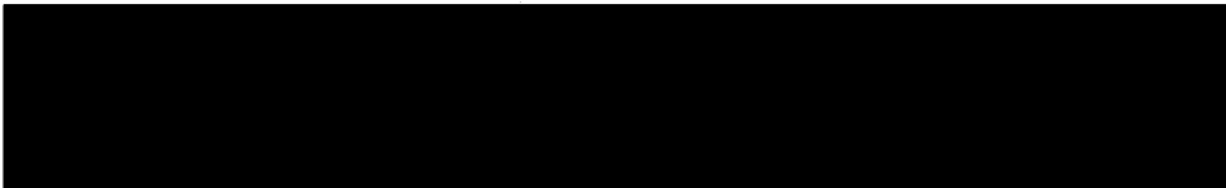
SSK in Übereinstimmung mit der Auffassung der ICRP einen Richtwert für die Radon-Konzentration in der Raumluft, "bei dessen Überschreitung einfache und wirksame Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration in bestehenden Bauten zu erwägen sind", von  $500 \text{ Bq/m}^3$  vor (bei einem "Gleichgewichtsfaktor" für die kurzlebigen Folgeprodukte von 0,4). Das entspricht einer potentiellen  $\alpha$ -Energiekonzentration von  $1,12 \mu\text{J/m}^3$ .

An dem in der Grube Konrad realistischerweise anzusetzenden Arbeitsplatz ist mit einer potentiellen  $\alpha$ -Energiekonzentration von (Rn- und Th-Folgeprodukte) ca.  $1,2 \mu\text{J/m}^3$  zu rechnen (Kap. 4.2). Unter Berücksichtigung der gegenüber dem Aufenthalt in Häusern (7008 h/a, vgl. Kap. 4.2) deutlich niedrigeren Aufenthaltszeit unter Tage (1500 h/a) wird in der Grube Konrad somit dieser Richtwert unterschritten.

## 6. Verwendete Literatur

- /BGA 84/ Radonkonzentration und Exposition durch Radonfolgeprodukte in Nichturan-Gruben in der Europäischen Gemeinschaft und Einflußgrößen. Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg bei München, ISH-Heft 43, Juli 1984.
- /BGA 85/ Dosisfaktoren für Inhalation oder Ingestion von Radionuklidverbindungen (Erwachsene), Institut für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes, Neuherberg b/München, ISH-Heft 63, April 1985.
- /BMI 76/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 13. Oktober 1976 (BGBl. I S.2905, ber. 1077 S. 184 und S. 269; BGBl. III 751-1-1) zuletzt geändert durch die Erste Änderungsverordnung vom 22. Mai 1981 (BGBl. I S. 445).

- /GSF 82/ Eignungsprüfung der Schachanlage Konrad für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, Abschlußbericht GSF-T 136, Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH (Institut für Tief Lagerung), München 1982.

- 
- /ICR 81/ ICRP Publication 32: Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. Annuals of the ICRP, Vol. 6, No. 1, 1981.
- /KfK 85/ Urban, M.; Wicke, A.; Kiefer, H.: Bestimmung der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Radon und dessen kurzlebige Zerfallsprodukte in Wohnhäusern und im Freien, KfK-Bericht Nr. 3805, Sept. 1985.
- /SSK 85/ Strahlenexposition und mögliches Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern. Verabschiedet in der 62. Sitzung am 6./8. 11. 1985. In: Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 6, Hrsg. BMJ. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York 1987.